

熱線風速計の指示特性の改良

段 野 勝・中 峠 哲 朗

Improvement upon the Indicating Characters of a Hot Wire Anemometer

Masaru DANNO, Tetsuro NAKATAO

The authors have been carrying on the studies on a hot wire anemometer by the use of a Pt-wire and Wheatstone's bridge, and it was already reported that the indicating characters were improved to such an extent for practical use. As the characteristics, however, were not linear, we tried to use a thermistor instead of the Pt-wire for the measuring head of the anemometer in this paper. As the result, linear characteristic was obtained for the wide range beyond 0.6m/s, but for the lower velocity less than 0.6m/s, the sensitiveness of the meter was decreased with the decreasing velocity. In order to improve the weak point, new type of the measuring head which was constructed by the thermistor, the Pt-wire and the screen with 20 meshes was introduced. In such a way, we obtained a hot wire anemometer with the linear character for the wide range of the air velocity.

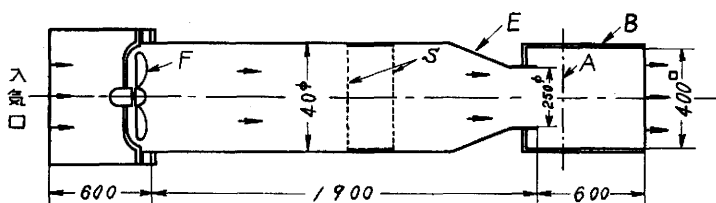
At present, some problems are being studied such as an effect of air temperature and indicating response etc..

1 緒 言

熱線風速計は一般に風速と指示値の関係が指数曲線的であり、極く低風速では極めて感度はよいが、風速の増加とともに急激に感度が低下する。さきに筆者は熱線とブリッジ回路を用いた熱線風速計の主として性能向上について報告し¹⁾、風速と指示値の特性については熱線を気流に直角に置いたものと、平行に置いたものとを電氣的に組合わすことにより幾分特性を直線性に近づけ得ることを述べた。しかしそれでもなお充分とはいえない難いように思われたので、サーミスターをこの回路に取入れることを試みた。すでにサーミスターを風速計の受感部に用いた計器の研究^{2),3)}も行なわれているが、特性を直線的なものとするために指示器にトランジスターまたは電子管を用い、その特性を利用することによって行なっている。筆者等は受感部にサーミスター、白金線および金網を利用し、指示器は簡単なホイストンブリッジ回路のみによって特性を直線性にするのを試みた結果、ある程度の実用性が認められたので取敢えずこの結果を報告する。

2 目盛検定用風洞実験装置

目盛の検定用に試作した風洞装置を第1図に示す。図のFは扇風機(71W)で気流は直径400mm

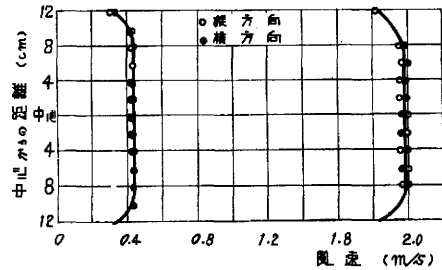


第1図 風 洞 装 置

の風管を通り整流用金網Sを経て、絞りの風管Eを通して排出される。この排出口(図の断面A)に風速計の受感部を置いて検定を行なうのである。しかし、低風速の検定の場合は室内の

* 助教授

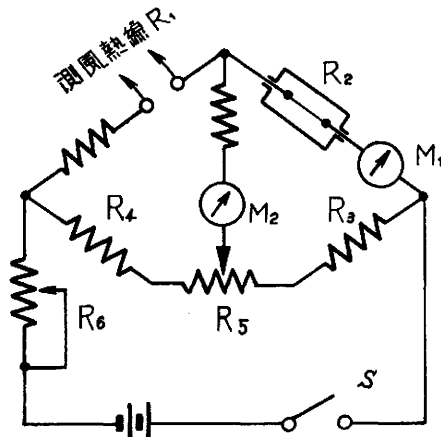
気流の乱れの影響を受け易いので、この部分は更に一端開放の木製の容器Bで蔽われている。断面Aの正しい風速はピトー管と基準用の熱線風速計で測定する。この基準熱線風速計は受感部を廻転腕に取り付け、これを静止空气中で一定速度で緩やかに廻転させ受感部の周速度を風速とみなして検定している¹⁾。風洞中の気流速度は扇風機の廻転数を簡単にスライダックによって変えることにより、また更に扇風機後部入口を開閉することにより制御した。この風洞の断面Aの風速分布は第2図に示すように、広い範囲にわたり一様であることが認められた。



第2図 風洞の風速分布

3 白金熱線を用いた風速計

第3図は最初に試作した熱線風速計の結線図である。2本の熱線 R_1 , R_2 と2本の マンガン線 R_3 , R_4 でホイットストンブリッジを構成している。 R_1



第3図 熱線風速計結線図

R_1 は受風用の熱線で、 R_2 は温度補償を行なうためのものである。2本の熱線はそれぞれ直径約 0.03mm の純白金線で常温で約 5Ω 、使用状態で約 7Ω である。 S は電源スイッチである。 R_5 は零位調整を行なうための可変抵抗器で、零位調整を行なうときは受感部は気流にさらさないようにする。 R_6 は電流調整を行なうための可変抵抗器で、電流計 M_1 を見ながら熱線に流れる電流を一定値にする。 M_2 は風速を指示するための電流計である。すでに述べたように熱線 R_1 の 気流に対する置き方によっていくらか特性が変るが、熱線を気流に直角に置いた場合は風速 v とブリッジ電流 i_0 の関係は実験的にはほぼつぎの関係が

成立する。

$$i_0 = a \log v + b$$

ゆえに

$$di_0 = a \log_{10} e \frac{dv}{v}$$

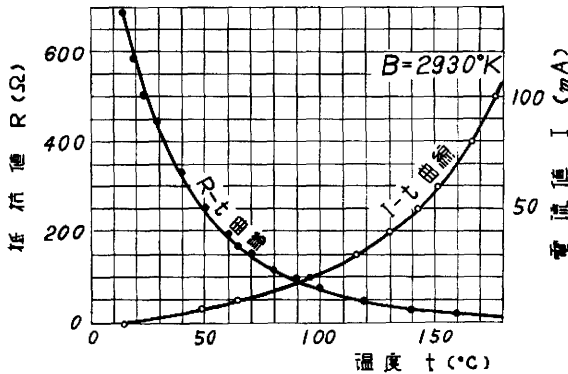
このように低風速で感度はよいが、風速が早くなると急激に感度が低下する。

4 サーミスターを用いた熱線風速計

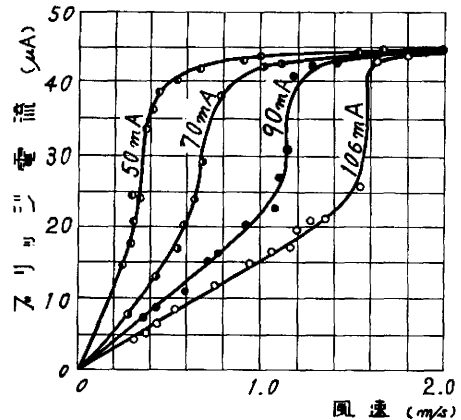
金属抵抗線はよく知られているように温度と抵抗の間に近似的に直線的比例関係がある。このような金属抵抗線を熱線風速計の受感部に使用した風速計の特性は前述のようである。サーミスターは温度上昇に対して指数曲線的に抵抗値が減少する。したがって金属抵抗線の代りに適当な温度特性をもつサーミスターを使用すれば風速と指示値の関係を直線的にすることが可能であると考えられる。サーミスターは低い電源電圧でできるように常温における抵抗値の小さい、しかも応答の点から熱容量の小さいサーミスター (N. E. C BS-52型) を採用することとした。このサーミスターの静止空气中で実測した特性は第4図に示すように、サーミスター定数は $B = 2930^\circ K$ であった。ただし B は次の関係で表わされる定数である。

$$R = R_0 \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

ここに R_0 は温度 T_0 ($^{\circ}\text{K}$) における抵抗値であり、 R は温度 T ($^{\circ}\text{K}$) における抵抗値である。このサーミスターは小さなガラス容器に封入されているが風速変化に対する応答をよくするためこれを取除いている。



第4図 使用したサーミスターの特性

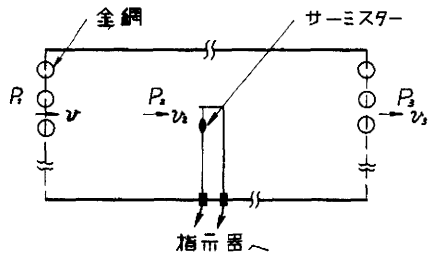


第5図 種々の電流に対する風速とブリッジ電流の関係

第1図に示す回路の熱線 R_1 の代りに上述のサーミスターを取りつけ、サーミスター電流を種々の値にとって風速とブリッジ電流の関係を求めた結果は第5図に示すようである。なお熱線 R_1 をサーミスターとすると、スイッチ S_1 を閉じた瞬間は第4図から分るようにサーミスターの抵抗値が大きいから、ブリッジの不平衡が大きく、電流計 M_2 を破損する恐れがあるので、ブリッジ回路にスイッチを入れてこの回路を切っておく。サーミスターに電流が流れ、その温度が安定し、電流計 M_1 の指示が所定の値に達して安定した後ブリッジ回路のスイッチを閉じ、可変抵抗器 R_5 によって零位調整を行なうのである。第5図からサーミスターの電流の大小にかかわらず風速の低い範囲では直線関係があるが、ある程度風速が早くなると急激に指示値が不安定となり、(たとえばサーミスター電流 106mA では風速約 1.55m/s で指示値が不安定となる。) 更に早くなると極端に感度は低下し、ブリッジ電流はほとんど変化しないようになる。またこの結果によればサーミスター電流が大きいほど指示特性の直線範囲が広がるが、このサーミスターの電流の許容範囲は 110mA であるからこれを越すことはできない。したがって 106mA を使用電流にとると直線を保つ測定範囲は風速 1.4m/s 程度までとなる。

5 金網による測定範囲の拡大

そこでこの測定範囲を拡大する方法として第6図のようにサーミスターを薄い金属筒に入れ、この前後に 20mesh 程度の金網を取り付けた。このようにすると風速が早い場合もサーミスターに当る風速を小さくすることができる。また金網の目の細かさを適当に選ぶことにより測定範囲を任意に調整することもできる。この場合サーミスターに当る風速とブリッジ電流とが丁度第5図の直線関係を保つ範囲を使用できるような金網を採用しても、測定しようと



第6図 金網を取り付けた受感部

する風速と、金網内部のサーミスターに当る風速との間に直線的な比例関係がなければ風速計としての指示目盛の直線性は失われる。そこでこの点について簡単に考察してみる。

いま第6図に示すように筒の前後に細かさや針金の直径の等しい同じ金網を取り付けたものとし測定しようとする風速、筒の内部の風速および筒の後部の風速をそれぞれ v_1 , v_2 および v_3 , 金網の目を通る風速を v , 前の金網の直前、筒の内部および後の金網の直後のそれぞれの総圧を図のように P_1 , P_2 および P_3 , 大気圧を P_a とすれば近似的に次の関係が成立する。

$$P_1 = P_a + k\gamma \frac{v_1^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(1)$$

k は金網の細かさによって決まる定数で、 $0 \leq k \leq 1$ とするものとする。また γ は空気の密度である。 P_1 と P_2 および P_2 と P_3 の圧力差で前後の金網には風が流れることは明らかである。そこで金網の目を通る風が

$$\text{乱流の場合} \quad ; \quad P_1 - P_2 = P_2 - P_3 = Rv^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{層流の場合} \quad ; \quad P_1 - P_2 = P_2 - P_3 = Rv \quad \dots\dots\dots(3)$$

と假定する。ただし R は金網の気流に対する流動抵抗係数である。また少し無理ではあるが P_3 と P_a の間には次の関係があるものとする。

$$P_3 = P_a - \beta\gamma \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(4)$$

この場合も流れの連続の法則が成立するから、金網の目数を n , 金網の1目の面積を S_1 , 金属円筒の断面積を S_2 とすれば、

$$nS_1v = S_2v_2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

したがって金網を通過する気流が(2)式を満足する場合は、(1), (2), (4)および(5)式を考慮し、しかも P_3 の圧力を与える断面の風速を $v_2 = v_3$ にとると、

$$(k + \beta)\gamma \frac{1}{2g} v_1^2 = \left\{ 2R \left(\frac{S_2}{nS_1} \right)^2 + \beta\gamma \frac{1}{2g} \right\} v_2^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

v_1 , v_2 以外は定数と考えられるから

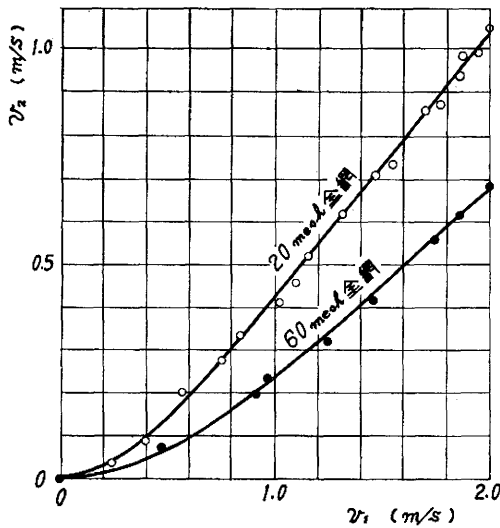
$$v_1 \propto v_2$$

つぎに金網を通過する気流が(3)式を満足するような場合は上と同様に(1), (3), (4)および(5)式から

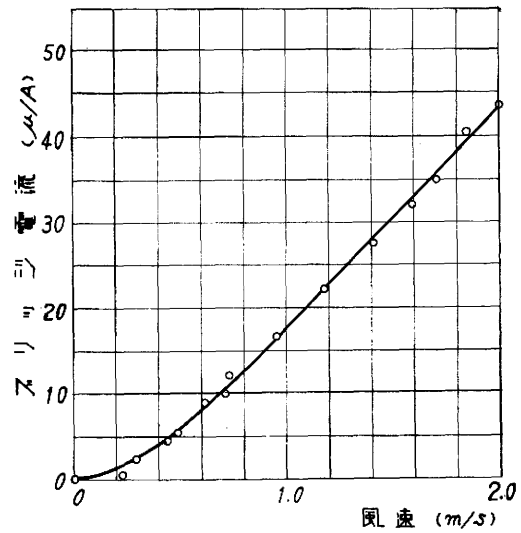
$$(k + \beta)\gamma \frac{1}{2g} v_1^2 = 2R \left(\frac{S_2}{nS_1} \right) v_2 + \beta\gamma \frac{1}{2g} v_2^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

となる。(6), (7)式の k , β , R などの定数は不明であり、またこれを決定することは主題の目的をはなれるから省略する。(3)が成立する場合は、 v が小さいときは $v_1^2 \propto v_2$ となり、 v が大きいときは $v_1 \propto v_2$ となることが分かる。このことから、風速が大きく金網の目を通る気流が乱流であれば測定しようとする風速と金網内部の風速とは直線的な関係を保つが、層流の場合は風速の低いところでは直線関係はなく、風速がある程度早くなると次第に直線関係に近づくものと思われる。これを実験的に調べた結果は第7図に示すようで、20meshの金網を使用した場合は約0.6m/s以上の風速ではほぼ直線的に、60meshの金網を使用した場合は約1.0m/s以上の風速ではほぼ直線的に比例している。すなわち上述の考察から定性的ではあるが実験的にこのような曲線になることはうなずけるところである。そこで20meshの金網を第6図に示すように金属円筒の前後に取り付け、内部にサーミスター (R_1) を置き、風速とブリッジ電流との関係を調べた結果は第8図のようである。風速0.5m/s以上では直線的指示を与えているが、0.5m/s以下では感度が低下している。これは上述のような金網の風速に対する性質によるものと想像される。なおブリッジ電流は測定範囲に同じ電流値がおおよそ電流計目盛一杯ふれるようにブリッジ抵抗を調節している。またホイストンブリッジを構成する各辺の抵抗値は風速零における使用状態でこれらが等しくなるような値としてい

る。



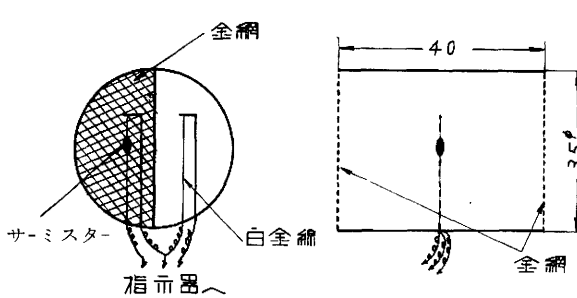
第7図 金網の流速に及ぼす影響



第8図 受感部にサーミスターと金網を使った場合の特性

6 試作した風速計

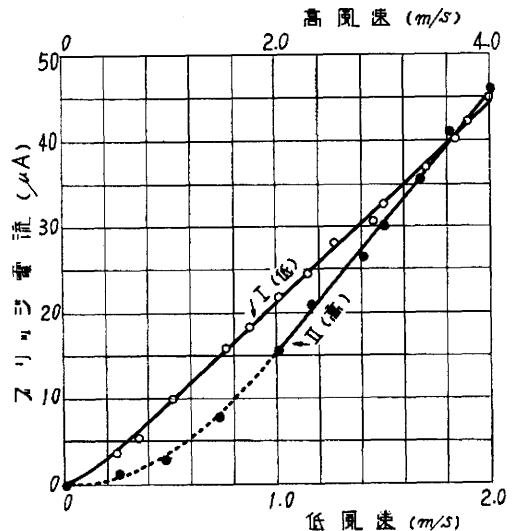
さきに述べたように、白金線を熱線に用いた風速計は低風速では感度が高い。そこで前節で述べた低風速部分の感度の低下を補償するため、第3図に示す抵抗 R_1 を白金線（常温における抵抗値 6Ω 、使用状態で 8Ω ）とし、サーミスター R_2 とともに第9図に示すように同一受感部とした。この



第9図 風速計の受感部

ときの風速とブリッジ電流の関係を求めた結果は第10図曲線Ⅰに示すようである。白金抵抗線に流す電流は種々の電流値につき指示特性を調べ、実用の点も考え 100mA を採用した。なお測定範囲 2m/s を越えるときは、ピトー管と傾斜マノメーターを用いるか、ピラム型風速計などを用いることにより測定できるが、過去において試作した風速計に対する実用者側の要望を考え一応本器も 4.0m/s 迄を測定範囲にとることとした。

そこで風速 $2.0\sim 4.0\text{m/s}$ の測定は上記の受感部に更に 60mesh の金網を取り付け、風速 4.0m/s ではば計器の目盛範囲一杯に指針が振れるようにブリッジ抵抗を調整することにより行なった。 2.0m/s 以下の測定のときはこれを取外す。第10図曲線Ⅱは $2.0\sim 4.0\text{m/s}$ の範囲の特性を示したも



第10図 試作した風速計の特性

のである。なお曲線Ⅱの 2m/s 以下の特性は不要ではあるが、参考までに破線で示してある。第10図において曲線Ⅰの横座標は図の下部に、曲線Ⅱの横座標は図の上部に示している。このように指示特性としては初期の目的にかなう結果が得られたので、目下温度補償と応答の問題を研究中である。

7 結 言

白金熱線を受感部とした風速計の性能向上に関する研究をさきに報告したが、その中指示特性については未だ充分とはいえない難いように思われたので、受感部にサーミスターと白金線を並用して特性の改良を計る研究を行なった。その結果サーミスターと白金線を薄い金属円筒中に置き、この円筒の前後に 20mesh の金網を張ったものを受感部とすると、風速 2m/s まではほぼ直線指示の風速計を得ることができることを見出した。更にこの受感部に 60mesh の金網を取り付けることにより測定範囲を 4m/s 迄直線的に拡大することもできた。

現在温度補償や、応答などの問題を実験的に研究中であり、未だ実用計器として完成する迄には至っていないが、取り敢えず研究経過と今までに得られた結果を報告した。

最後に実験遂行に終始御援助いただいた本学卒業生北川雅通氏（現小西六写真工業KK勤務）に深謝する次第である。

本研究は文部省科学研究費の交付を受けて行なったもので、第21回（昭和39年度）農業土木学会京都支部研究発表会において講演した。

文 献

- 1) 段野, 平松 : 福井大学工学部研究報告, 11巻, 1・2号, p.1 (昭和38年3月)
- 2) 田村, 渡 : 静岡大学工学部研究報告, 4号, (1953)
- 3) 鈴木, 高木 : 採鉱と保安, 9巻, 1号, p. 1 (昭和39年)

(昭和39年9月28日受理)